

فصلنامه سیاست‌گذاری پیشرفت اقتصادی دانشگاه الزهرا (س)  
سال دوم، شماره ۳، تابستان ۱۳۹۳

## بررسی اهمیت و میزان تأثیر گذاری متغیرهای اقتصادی بر نرخ ارز در ایران

مریم ابراهیمی<sup>۱</sup> و مهدی پدرام<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۲۲

### چکیده

پیش‌بینی نرخ ارز یکی از مسائل مهم هر کشور است. روش‌های مرسوم پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل آماری سری زمانی بر اساس دو فرض ایستایی و خطی بودن هستند، اما در مواردی که ویژگی خطی بودن صدق نکند، در عملکرد این مدل‌ها تردید ایجاد می‌شود. در این راستا، شبکه‌های عصبی مصنوعی از قابلیت بالایی در مدل‌سازی فرآیندهای تصادفی و پیچیده و پیش‌بینی مسیرهای غیرخطی پویا برخوردارند. در این مقاله، با استفاده از یک شبکه عصبی با رویکرد بنیادی، روند تغییرات نرخ ارز را بر اساس متغیرهای اقتصادی مؤثر بر آن مانند شاخص قیمت مصرف‌کننده در ایران و آمریکا، ارزش صادرات و واردات، قیمت نفت و قیمت طلا را مدل‌سازی کرده و با تحلیل حساسیت میزان تأثیرگذاری هر یک از متغیرها را ارزیابی کرده‌ایم. با استفاده از نتایج

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد دانشگاه الزهرا، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی، توسعه اقتصادی و برنامه‌ریزی (نویسنده مسئول)؛ Maryam.ebrahimi2000@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشیار دانشگاه الزهرا، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی؛ mehdipdr@alzahra.ac.ir

مدل می‌توان اظهار داشت که مدل، بیشترین حساسیت را نسبت به شاخص قیمت مصرف‌کننده از خود نشان می‌دهد. همچنین قیمت طلا، صادرات، قیمت نفت و واردات به ترتیب عوامل دیگر مؤثر بر روند نرخ ارز در ایران هستند.

**واژه‌های کلیدی:** پیش‌بینی نرخ ارز، شبکه عصبی مصنوعی، شاخص قیمت مصرف‌کننده در ایران و آمریکا، قیمت نفت، قیمت طلا، صادرات، واردات.

طبقه‌بندی JEL:  $F_{31}, C_{22}$

## ۱. مقدمه

تعیین نرخ ارز و نوسانات آن یکی از موضوع‌های مهم در تحلیل اقتصاد باز است. کشورها بنا به ساختارهای اقتصادی خود درجات حساسیت مختلفی نسبت به تغییرات آن دارند. نرخ ارز معمولاً نقش دوگانه‌ای را در اقتصاد ایفا می‌کند، چرا که از یک سوی، افزایش آن احتمالاً با ایجاد و حفظ قدرت رقابتی کشور تعادل اقتصادی را در بخش خارجی تضمین می‌نماید و از سوی دیگر، تثبیت آن نیز در شرایطی موجبات ثبات اقتصادی را فراهم می‌آورد. نوسانات نرخ ارز صادرات و واردات کشورها را تغییر داده و از این رو دارای اهمیت فراوانی برای تصمیم‌گیری‌های اقتصادی است.

پر واضح است که یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های اقتصاد ایران وابستگی شدید به درآمدهای نفتی است. این امر باعث شده است در زمان کاهش قیمت نفت یا تحریم‌های اقتصادی با کمبود درآمدهای ارزی مواجه شویم که می‌تواند مشکل‌ساز باشد. بدین‌روی، امروزه تقویت بنیان‌های تولید، رشد صادرات غیرنفتی و افزایش سهم کشور در تجارت جهانی و بازارهای بین‌المللی، به منظور کاهش وابستگی شدید اقتصاد به درآمدهای نفتی، یکی از اهداف مهم اقتصادی تلقی می‌شود و به همین دلیل، همواره مورد توجه اقتصاددانان و حتی سیاست‌مداران بوده که نقش نرخ ارز در حصول به این هدف بسیار اهمیت دارد.

از آنجا که نرخ ارز دارای رفتار پیچیده‌ای است، داشتن یک مدل (مدل‌های) مفید، مؤثر و دقیق به منظور پیش‌بینی نرخ ارز می‌تواند بسیار یاری‌رسان باشد.

شبکه عصبی مصنوعی یکی از روش‌های بدیع و متحولانه است که به دلیل مزایای آن در مقایسه با روش‌های اقتصادسنجی در موضوع‌های متنوعی همچون مدل‌سازی، شناخت الگو و پیش‌بینی سری‌های زمانی استفاده شده و نتایج مفیدی داشته است.

## ۲. مبانی نظری

در این بخش پس از ارائه مفهوم نرخ ارز، عوامل تأثیرگذار بر روند تغییرات آن مورد بررسی قرار می‌گیرند.

### ۲-۱. نرخ ارز

نرخ ارز قیمت یک پول بر حسب پول دیگر است. در واقع، تعداد واحدهای پول ملی بر حسب یک واحد پول خارجی را نرخ ارز می‌نامند.

این نرخ یکی از متغیرهای مهم برای سنجش وضعیت هر اقتصادی در طی زمان، در کنار متغیرهای کلانی مانند تورم، بیکاری و رشد است. نرخ ارز در اقتصاد هر کشوری که با دنیای خارج از خود ارتباط دارد، یکی از عوامل تعیین‌کننده است. این نرخ بر قیمت کالاها و خدمات وارداتی تأثیر می‌گذارد و یکی از اساسی‌ترین عواملی است که بر صادرات، واردات، ترازپرداخت‌ها و ذخایر ارزی هر کشور تأثیرگذار است. نرخ ارز ارزش پول ملی نسبت به اسعار خارجی یا آئینه تمام‌نمایی از اقتصاد هر کشور در مقابل کشورهای دیگر در محیط بین‌الملل است. میزان اهمیت نرخ ارز در هر اقتصاد به میزان ارتباط آن کشور با کشورهای دیگر و بازارهای جهانی یا به اصطلاح میزان باز یا بسته بودن آن اقتصاد بستگی دارد؛ یعنی مجموع حجم صادرات هر کشور به اضافه حجم واردات آن در یک سال چه کسری از تولید ناخالص داخلی آن کشور را تشکیل می‌دهد. هرچه این کسر بزرگتر باشد، اقتصاد آن کشور بازتر است.

نوسان نرخ ارز مجموعه‌ای از تغییرات متفاوت و حتی متضاد را در بخش داخلی و خارجی اقتصاد به همراه دارد که برآیند آن می‌تواند عملکرد اقتصاد کشور را تحت تأثیر مثبت یا منفی قرار دهد، بنابراین، در قرن حاضر هیچ شاخصی بیش از نوسانات نرخ ارز توجه و تفکر اقتصاددانان و سیاست‌گذاران کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه را به خود جلب نکرده است. نوسانات غیرعادی در سیستم ارزی یکی از معضلات اقتصادی هر کشور است که ثبات اقتصاد را با چالش مواجه و اعتماد مردم به پول را سلب می‌کند و

کاهش نسبی قدرت خرید در مقایسه با موازنه‌های بین‌المللی را در پی دارد. در واقع، یکی از دلایل اصلی طرفداران سیستم نرخ ارز ثابت در مقابل سیستم نرخ ارز شناور آن است که این سیستم با کاهش دامنه نوسانات نرخ ارز محیط مساعدتری را برای تولید، تجارت و سرمایه‌گذاری بین‌المللی فراهم می‌سازد.

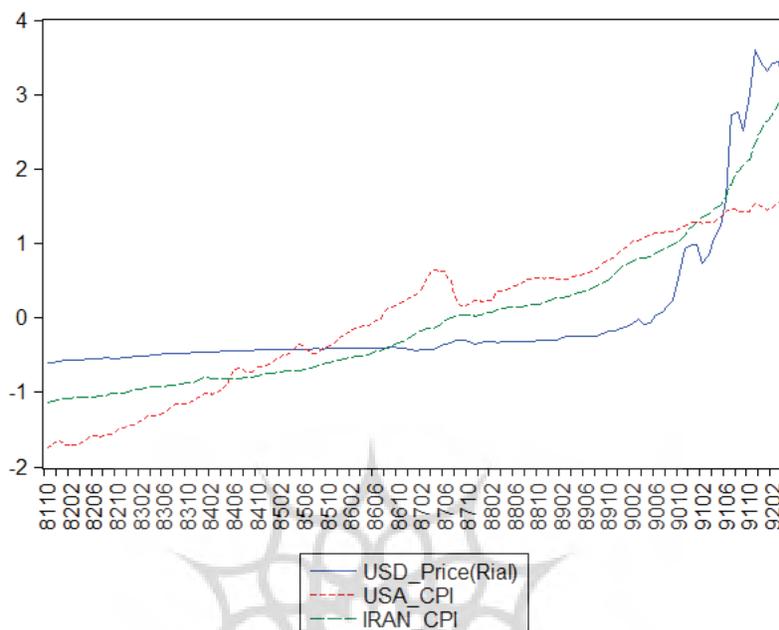
بدین‌رو، ارزش و اهمیت نرخ ارز موجب می‌شود که مدیریت نرخ ارز همواره یکی از مسائلی باشد که سرمایه‌گذاران و فعالان اقتصادی بر ضرورت آن تأکید کنند.

## ۲-۲. عوامل مؤثر بر نرخ ارز

پارامترهای متعددی در تعیین نرخ ارز در هر کشوری تأثیرگذارند که نقش و میزان اهمیت هر یک در اقتصادهای مختلف متفاوت است. در ادامه به بررسی برخی از مهم‌ترین این پارامترها می‌پردازیم.

### ۲-۲-۱. شاخص قیمت مصرف‌کننده

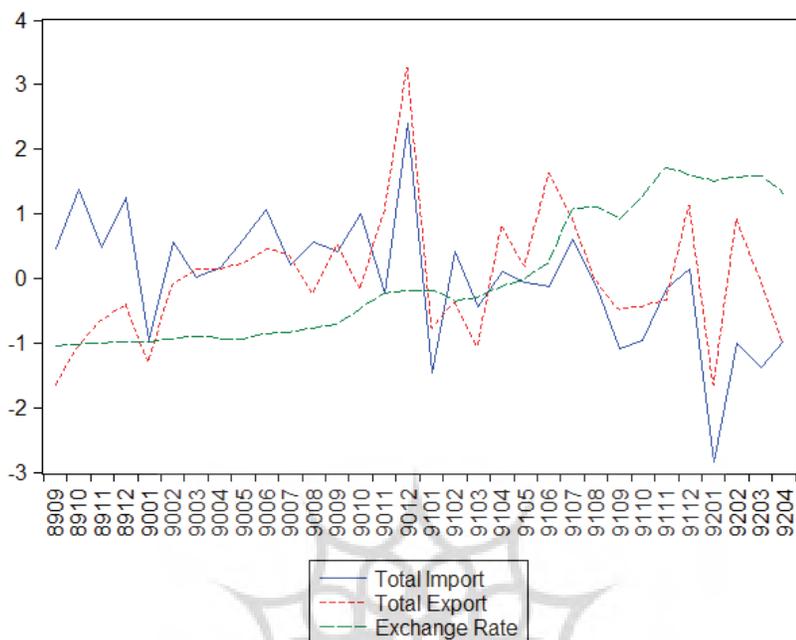
برخی از صاحب‌نظران معتقدند که افزایش نرخ ارز سبب افزایش قیمت کالاهای وارداتی می‌شود و بر بخش‌های اقتصادی که حساسیت زیادی دارند، اثر نامطلوب می‌گذارد و رشد تورم را تسریع می‌کند. نگرانی از این که ممکن است بین افزایش نرخ ارز و تورم یک چرخه شوم علّت و معلولی برقرار باشد، تشدید شده است. در این دایره، چنین مطرح می‌شود که بالارفتن نرخ ارز سبب افزایش قیمت کالاهای وارداتی و افزایش قیمت کالاهای وارداتی سبب رشد تورم و رشد تورم باعث افزایش باز هم بیشتر نرخ ارز می‌شود، بنابراین، صادرات غیرنفتی نیز به سبب افزایش تورم کاهش می‌یابد.



نمودار ۱. روند تغییرات سه متغیر استاندارد شده شاخص قیمت ایران، آمریکا و نرخ ارز

## ۲-۲-۲. صادرات و واردات

کاهش نرخ ارز از طریق کاهش قیمت کالاهای وارداتی و افزایش قیمت کالاهای صادراتی، قدرت رقابتی تولیدکنندگان داخلی در برابر رقبای خارجی را در بازارهای داخلی و خارجی، کاهش داده، در نتیجه، اثر منفی بر میزان درآمد، اشتغال نیروی کار و بازدهی سرمایه‌گذاری در داخل بر جای می‌گذارد. در مقابل، کاهش نرخ ارز، قیمت کالاهای سرمایه‌ای و واسطه‌ای وارداتی را به‌طور مستقیم کاهش داده، در نتیجه، با کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری، موجبات افزایش بازدهی سرمایه‌گذاری و به دنبال آن افزایش سرمایه‌گذاری و تقاضا برای کالاهای سرمایه‌ای را فراهم خواهد کرد. بنابراین در مجموع، برآیند این دو اثر متضاد، اثر خالص تغییر نرخ ارز بر سرمایه‌گذاری را روشن خواهد نمود (زمان‌زاده، فروردین ۱۳۹۱).



نمودار ۲. روند تغییرات استانداردشده سه متغیر قیمت دلار به ریال، صادرات و واردات به دلار

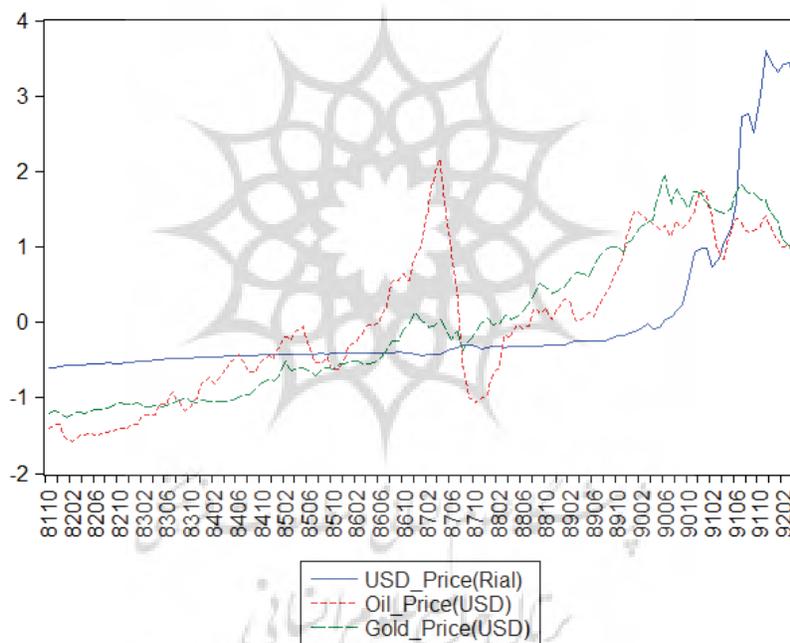
### ۲-۲-۳. قیمت طلا و نقش مصرفی یا سرمایه‌ای آن

از عوامل دیگر مؤثر بر روند نرخ ارز که اطلاعات گذشته آن به صورت کمی در دسترس است، می‌توان به قیمت طلا اشاره کرد. تحولات قیمتی در بازار بین‌المللی فلزات گرانبها به ویژه طلا ارتباط تنگاتنگی با ارزش دلار و قیمت نفت خام دارد. به عنوان مثال در سال ۱۳۸۶، قیمت جهانی طلا و سایر فلزات گرانبها تحت تأثیر تغییر ارزش دلار، افزایش بهای نفت خام، نگرانی از افزایش تورم جهانی، افزایش تقاضای مؤسسات مالی و سرمایه‌گذاری در اثر رویکرد به طلا به‌عنوان ابزار مؤثر حفظ ارزش سرمایه، محدودیت‌های عرضه و افزایش تقاضای بانک‌های مرکزی افزایش قابل توجهی یافت.

### ۲-۲-۴. قیمت و میزان عرضه نفت

پر واضح است که یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های اقتصاد ایران وابستگی شدید به درآمدهای نفتی است. این امر باعث شده است که کشور در زمان کاهش قیمت نفت یا

تحریم‌های اقتصادی با کمبود درآمدهای ارزی و در زمان رونق درآمدهای نفتی با وفور درآمدهای ارزی مواجه شود. شیوه نادرست برخورد با هر یک از این شرایط، در سال‌های پیشین به‌ویژه سال‌های اخیر، نتیجه‌ای جز تضعیف پایه‌های تولید و وابستگی بیشتر به واردات را در پی نداشته است. امروزه تقویت بنیان‌های تولید، رشد صادرات غیرنفتی واقعی و افزایش سهم کشور در تجارت جهانی و بازارهای بین‌المللی به منظور کاهش وابستگی شدید اقتصاد به درآمدهای نفتی، یکی از اهداف مهم اقتصادی تلقی می‌شود و به همین دلیل، همواره مورد توجه اقتصاددانان و حتی سیاست‌مداران است، بنابراین، تعیین نرخ ارزی یکی از نکاتی است که باید مورد توجه قرار گیرد.



نمودار ۳. روند تغییرات سه متغیر استاندارد شده قیمت دلار به ریال، قیمت طلا و قیمت نفت به دلار

## ۲-۲-۵. تراز پرداخت‌ها

تراز پرداخت‌ها، ثبت پرداخت‌های پولی بین کشور با کشورهای دیگر دنیاست. تراز پرداخت‌های مثبت به معنی افزایش ذخایر ارزی است و چنانچه تراز پرداخت‌ها منفی

باشد، به معنی کاهش ذخایر ارزی کشور است. هرگونه تغییر و تحول در وضع پرداخت‌ها تأثیر مستقیم روی نرخ ارز می‌گذارد. دارندگان پول کشوری که تراز پرداخت‌هایش رو به کاهش می‌رود، آن پول را می‌فروشند و پول معتبر دیگری را خریداری می‌کنند. بنابراین، عرضه این پول در بازار زیاد می‌شود و نرخ آن نسبت به پول‌های دیگر کاهش می‌یابد.

### ۲-۲-۶. استقراض خارجی

هر اندازه کشوری بیشتر مقروض باشد، نیازش به ارز برای پرداخت اصل و بهره بدهی‌ها بیشتر است. بنابراین، فشاری که روی ذخایر ارزی آن کشور وارد می‌شود، روی نرخ ارز آن کشور منتقل شده و آن را تضعیف می‌کند.

### ۲-۲-۷. انتظارات آینده

ممکن است نرخ ارزها بر اثر پیش‌بینی‌هایی که نسبت به وضعیت آنها می‌شود، تغییر کند. در صورتی که انتظار رود نرخ ارز کشوری در آینده قوی می‌شود، صادرکنندگان کالا به آن کشور، صادرات خود را به تأخیر خواهند انداخت تا زمانی که آن ارز کاملاً قوی شده باشد و پس از آن، ارز حاصل از صادرات خود را در هنگام تبدیل به پول کشور خود با نرخ بهتری خواهند فروخت و پول بیشتری دریافت خواهند کرد.

### ۲-۲-۸. سیاست‌های اقتصادی

سیاست‌های اقتصادی نیز عامل دیگری است که بر روی نرخ ارزها اثر می‌گذارد. این سیاست‌ها عبارتند از: ۱. رشد معقول عرضه پول؛ ۲. سیاست‌های مناسب مالی؛ ۳. خصوصیات دیپلماسی خارجی و فعالیت‌های نظامی؛ ۴. سرمایه‌گذاری در مقایسه با میزان نقدینگی (مشتاق، ۱۳۷۹).

### ۲-۲-۹. بحران‌های اقتصادی و تحریم‌ها

بحران‌های مالی سال‌های اخیر مانند بحران مالی کشورهای آسیای شرقی در سال‌های ابتدایی قرن بیست و یکم یا بحران مالی آمریکا و به دنبال آن اروپا پس از ۱۱ سپتامبر و

نیز تحریم‌های اعمال شده بر اقتصاد ایران در رابطه با برنامه هسته‌ای از عوامل بسیار مؤثر بر نرخ ارز در داخل کشور هستند.

### ۳. پیشینه پژوهش

لیسی و شیاوو<sup>۱</sup> (۱۹۹۹) شبکه عصبی را با مدل‌های آشوب<sup>۲</sup> مقایسه می‌کنند و نتیجه می‌گیرند که مدل‌های شبکه عصبی از نظر معیار NMSE بهتر از مدل‌های آشوب هستند. هو و تسوکالاس<sup>۳</sup> (۱۹۹۹) عملکرد شبکه‌های عصبی را با روش‌های دیگر پیش‌بینی مقایسه کرده‌اند. در مطالعه آنها استفاده از روش‌های ارزیابی متفاوت به نتایج متفاوت منجر شده است. یاو و تان<sup>۴</sup> (۲۰۰۰) نشان می‌دهند که صرف‌نظر از معیارهای ارزیابی (گرادیان و سودآوری) مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، برای پیش‌بینی نرخ‌های ارز دلار استرالیا، فرانک سوییس، مارک آلمان، پوند بریتانیا و ین ژاپن در مقابل دلار آمریکا عملکرد بهتری دارند. مطالعه دیویس و اپیسکوپوس<sup>۵</sup> (۲۰۰۱) نشان می‌دهد که شبکه‌های عصبی مشابه EGARCH هستند، اما عملکرد آنها از مدل‌های گام تصادفی از نظر پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای بهتر است. کریستین ال دونیس<sup>۶</sup> (۲۰۰۸) و همکارانش در مقاله خود به بررسی و ارزیابی و مقایسه کارایی سه نوع شبکه عصبی استاندارد متفاوت و نیز سه روش متداول اقتصادسنجی در پیش‌بینی نرخ ارز پرداخته‌اند. نتیجه این پژوهش مشخص نموده است که در بین این شبکه‌ها شبکه مبتنی بر مدل گوسی نتیجه بسیار بهتری می‌دهد. رودرا پرادان<sup>۷</sup> (۲۰۱۰) در مقاله خود شبکه عصبی مصنوعی را برای پیش‌بینی نرخ ارز در کشور هند به کار می‌گیرد. وی از دو مجموعه داده روزانه و هفتگی برای دلار آمریکا، پوند انگلیس، یورو و ین ژاپن استفاده کرده است. نتایج تجربی مطالعات وی نیز با استفاده از معیارهای اندازه‌گیری دقت پیش‌بینی ثابت می‌کند که شبکه عصبی مصنوعی ابزار مؤثری در پیش‌بینی نرخ ارز است. استوکس<sup>۸</sup> (۲۰۱۱) با استفاده از دو نوع شبکه عصبی متفاوت نشان داده در حالی که روش‌های متداول

<sup>1</sup> Lisi & Schiavo

<sup>2</sup> Chaos models

<sup>3</sup> Hu & Tsoukalas

<sup>4</sup> Yao & Tan

<sup>5</sup> Davis & Episcopos

<sup>6</sup> Cristian I. dunis

<sup>7</sup> Rudra P. Pradhan

<sup>8</sup> Stokes

اقتصادسنجی توانایی ارزیابی و پیش‌بینی و تحلیل داده‌های نرخ ارز روزانه و هفتگی را ندارند، شبکه‌های عصبی به‌خوبی این توانایی را داشته و علاوه بر آن توانایی پردازش صحیح تغییرات غیرخطی این داده‌ها را نیز دارند. پاسلی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۱) در پژوهش خود از یک شبکه عصبی MLP بهینه که توسط الگوریتم ژنتیک چند منظوره طراحی و آزمون شده است، بهره می‌گیرند. آنها با تجزیه و تحلیل داده‌ها نتیجه می‌گیرند که مدل شبکه عصبی مصنوعی به‌طور گسترده‌ای قادر است روند سه روز آینده نرخ ارز یورو-دلار آمریکا را برآورد کند

در مطالعه آکینتود موتایرو<sup>۲</sup> (۲۰۱۳) با عنوان "ارزیابی شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی نرخ ارز خارجی" مدل‌سازی، توصیف و پیش‌بینی نرخ‌های ارز چهار کشور با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی نشان داده شده است. یافته‌های وی نشان می‌دهد که شبکه عصبی مصنوعی ابزار بسیار مؤثری برای پیش‌بینی نرخ ارز بوده، در حالی که روش‌های سنتی آماری قادر به پیش‌بینی سری‌های زمانی مالی غیرخطی، غیرساکن و با درجه بالایی از اختلال نیستند.

حسن درگاهی و رضا انصاری (۱۳۸۷) در مقاله خود بر نقش شاخص‌های تلاطم در بهبود روش شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی روزانه دو نرخ ارز دلار و پوند در برابر یورو در بازار تأکید کردند. یافته‌های آنها نشان می‌دهد که مدل‌های سطوح بالای تلاطم در مقایسه با مدل مبنای قدرت پیش‌بینی نرخ ارز آتی را بهبود می‌دهد، اما در پیش‌بینی مدل‌های سطوح میانی و پایین تلاطم، بهبودی مشاهده نمی‌شود.

#### ۴. مدل‌های پیش‌بینی نرخ ارز

برای پیش‌بینی روند تغییرات نرخ ارز دو رویکرد وجود دارد؛ رویکرد اول، رویکرد تکنیکال<sup>۳</sup> است که فقط از رفتار گذشته نرخ ارز برای پیش‌بینی روند آتی آن استفاده می‌کند و به دلیل عدم توجه به متغیرهای دیگر اقتصادی به نام رویکرد تکنیکال شهرت یافته است. این مدل‌ها بر خلاف مدل‌های بنیادی در جهت یافتن روابط علی بین نرخ ارز و متغیرهای دیگر کلان‌تلاشی نمی‌کنند. تحلیل‌گران تکنیکال معمولاً داده‌های

<sup>1</sup> Vincenzo Pacelli

<sup>2</sup> Akintunde Mutairu Oyewale

<sup>3</sup> Technical

تاریخی را در قالب نمودارها ضبط می‌کنند و تلاش می‌کنند که روند احتمالی آتی را از تصویر تاریخی، استنباط کنند.

دومین رهیافت موجود، رویکرد بنیادی<sup>۱</sup> است که پیش‌بینی نرخ ارز را بر اساس متغیرهای اقتصادی انجام می‌دهد. از جمله مدل‌های بنیادی می‌توان به مدل برابری قدرت خرید (PPP)<sup>۲</sup>، مدل‌های پولی تعیین نرخ ارز و مدل موازنه سبب دارایی اشاره کرد.<sup>۳</sup>

### الف) شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی ابزاری برای مدل‌سازی فرآیندها و سیستم‌هایی است که یا توصیف کاملی از روابط مؤثر بین ورودی‌ها و خروجی‌ها در آنها وجود ندارد و یا پیچیدگی روابط بین متغیرهای مؤثر بر آنها به قدری زیاد است که مدل‌سازی را با ابزارهای متداول مشکل می‌سازد. پردازش اطلاعات و تعمیم‌یافته‌ها، شبکه‌های عصبی مصنوعی را به یک روش محاسباتی قدرتمند برای یادگیری از مثال‌ها و تعمیم این یادگیری به مثال‌هایی که تاکنون مشاهده نشده است، تبدیل می‌کند. شبکه عصبی مصنوعی، ابتدا باید آموزش داده شود. برای آموزش شبکه، معمولاً کل داده‌ها به دو مجموعه آموزش (داده‌های نمونه) و آزمون (داده‌های خارج از نمونه) تقسیم می‌شوند. مجموعه آموزش برای یادگیری شبکه به کار گرفته می‌شود، در حالی که مجموعه آزمون برای ارزیابی توانایی تعمیم مدل به کار می‌رود. شبکه‌ها انواع مختلفی دارند، اما همگی آنها از دو مؤلفه تشکیل می‌شوند:

۱. مجموعه‌ای از گره‌ها: هر گره در حقیقت واحد محاسباتی شبکه است که ورودی‌ها را گرفته و بر روی آن پردازش انجام می‌دهد تا خروجی به دست آید. پردازش انجام شده توسط گره می‌تواند از ساده‌ترین نوع پردازش‌ها نظیر جمع کردن ورودی‌ها تا پیچیده‌ترین محاسبات را شامل شود. در حالت خاص، یک گره می‌تواند خود شامل یک شبکه دیگر باشد.

<sup>1</sup> Fundamental

<sup>2</sup> Purchasing Power Parity

<sup>3</sup> Pedram & Ebrahimi

۲. اتصالات بین گره‌ها: این اتصالات نحوه گذر اطلاعات بین گره‌ها را مشخص می‌کند. در حالت کلی، اتصالات می‌توانند تک‌سویه<sup>۱</sup> یا دوسویه<sup>۲</sup> باشند. تعامل بین گره‌ها از طریق این اتصالات سبب بروز یک رفتار کلی از سوی شبکه می‌شود که چنین رفتاری به تنهایی در هیچ یک از المان‌های شبکه مشاهده نمی‌شود. جامع بودن این رفتار کلی بر عملکرد موجود در هر گره سبب تبدیل شبکه به یک ابزار توانمند می‌شود. به بیان دیگر، مجموعه‌ای ساده از المان‌ها وقتی در قالب یک شبکه باشند، می‌توانند رفتاری از خود بروز دهند که هیچ‌یک از آن المان‌ها به تنهایی قادر به بروز چنین مشخصه‌ای نبود.

هدف از آموزش شبکه‌های عصبی، یافتن اندازهٔ وزن‌ها و بایاس‌ها به نحوی است که خطای داده‌های آموزش را به حداقل ممکن برساند. بنابراین، آموزش شبکه‌های عصبی را می‌توان یک مسألهٔ بهینه‌سازی دانست که هدف از آن بهینه‌سازی ضرایب وزنی و بایاس‌ها به‌منظور دستیابی به حداقل خطای آموزش است. در روش‌های مرسوم برای آموزش شبکه‌های عصبی از الگوریتم پس انتشار و روش‌های دیگر گرادیانی استفاده می‌شود.

به طور کلی، شبکه‌های عصبی به‌لحاظ یادگیری دو دسته‌اند: شبکه‌های وزن ثابت و شبکه‌های با وزن متغیر (شبکه‌های یادگیرنده). خود شبکه‌های یادگیرنده نیز با دو دسته با سرپرست<sup>۳</sup> و بدون سرپرست<sup>۴</sup> تقسیم می‌شوند. در شبکه‌های با سرپرست، در فاز آموزش از نمونه‌هایی استفاده می‌شود که خروجی ایده‌آل متناظر با آنها از پیش دانسته است. به بیان دیگر در این گونه شبکه‌ها، نمونه‌های داده ورودی برچسب دارند. در شبکه‌های بی‌سرپرست، براساس یک معیار مثلاً فاصله و بر اساس نوعی رقابت، خروجی مورد نظر در کلاس جداگانه قرار می‌گیرد. شبکه با استفاده از اطلاعاتی که از ورودی و توسط سرپرست خود دریافت می‌کند، قادر به فراگیری روند موجود در الگوهاست. ارائه نمونه داده‌های ورودی به شبکه به دو روش امکان‌پذیر است: روش ارائه یکجا<sup>۵</sup> و روش ارائه الگو<sup>۶</sup>. در روش ارائه یکجا، تمام نمونه‌ها به شبکه ارائه می‌شوند و در آخر خطای

<sup>1</sup> Unidirectional

<sup>2</sup> Bidirectional

<sup>3</sup> supervised

<sup>4</sup> unsupervised

<sup>5</sup> Batch mode

<sup>6</sup> Pattern mode

شبکه نسبت به کل نمونه‌ها محاسبه شده و وزن‌ها بر اساس آن خطا تغییر می‌کنند. در مرحله بعد بار دیگر تمام داده‌ها یکبار دیگر به شبکه ارائه شده و این روند نظیر به نظیر انجام می‌پذیرد تا سرانجام خطا به سطح قابل قبولی برسد. به یقین، این روش پیچیده و زمان‌بر بوده و نیاز به حافظه زیادی دارد. در روش ارائه الگو، هر بار نمونه‌ها به صورت تک تک به شبکه داده شده و خطای متناظر با همان داده بی‌درنگ محاسبه شده و بر اساس آن وزن‌های شبکه تغییر می‌کنند. سپس نمونه بعدی به شبکه ارائه شده و روند بالا انجام می‌پذیرد. چون در این روش در هر گام، اصلاح وزن‌ها بر اساس هر نمونه انجام می‌پذیرد، الگوریتم همگرایی خوبی داشته و با توجه به ماهیت تصادفی موجود در ارائه تکی داده‌ها، خطر کمینه‌های محلی کاهش می‌یابد. به منظور آموزش شبکه و اصلاح وزن‌ها تا رسیدن به یک خطای معنادار، روش‌های زیادی وجود دارد. یکی از مشهورترین این روش‌ها الگوریتم پس‌انتشار خطاست.<sup>1</sup> در این الگوریتم ابتدا وزن‌های شبکه به طور تصادفی انتخاب می‌شوند. در هر گام خروجی شبکه محاسبه شده و بر حسب میزان اختلاف آن با خروجی مطلوب، وزن‌ها تصحیح می‌شوند تا در نهایت این خطا کمینه شود. با فرض اینکه  $W$  وزن‌های متناظر بین لایه ورودی و لایه بعد باشد، می‌توان به صورت زیر نوشت نوشت. به وضوح می‌توان دید که خروجی تابع فقط به ورودی و وزن‌های متناظر بستگی دارد.

$$A_j(X, W) = \sum_{j=0}^n X_j W_{ji} \quad (1)$$

از آنجا که شبکه‌های عصبی کاربردهای متعدد و متفاوت دارند، الگوریتم مورد استفاده در آنها با توجه به نوع استفاده آنها متغیر است. از انواع شبکه‌های عصبی می‌توان به شبکه عصبی پرسپترون، شبکه عصبی هاپفیلد، شبکه عصبی همینگ، شبکه عصبی کوهنن، شبکه عصبی انتشار رو به عقب و شبکه عصبی تأخیر زمانی اشاره کرد. هرچند نحوه مدل کردن نرون جزء اساسی‌ترین نکات کلیدی در کارایی شبکه عصبی است، اما نحوه برقراری اتصالات و چیدمان (توپولوژی) شبکه نیز عامل بسیار مهم و اثرگذاری است. یکی از کارآمدترین چیدمان‌ها در مدل‌سازی، مدل پرسپترون چند لایه (MLP) است که از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل

<sup>1</sup> Error back propagation algorithm

شده است. در این ساختار، تمام نرون‌های یک لایه به نرون‌های لایه بعد متصلند. این چیدمان اصطلاحاً یک شبکه با اتصالات کامل را تشکیل می‌دهد.

$$Q_i = \text{sgm} \left[ \sum_m \text{sgm} \left( \sum_i X_j W_{lm}^h \right) W_{mj}^o \right] \quad (2)$$

که در آن،  $o$  و  $h$  به ترتیب نشان‌دهنده لایه نهان و لایه خروجی بوده و منظور از  $W$  همان وزن‌های لایه‌هاست.  $\text{Sgm}$  نیز تابع سیگموئید است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{sgm}(X) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3)$$

در این پژوهش با توجه به صورت مسأله از شبکه پرسپترون چند لایه استفاده کرده‌ایم. شبکه‌های چندلایه می‌توانند برای یادگیری مسائل غیرخطی و نیز مسائلی باتصمیم‌گیری‌های متعدد به کار روند.

شبکه‌ها با استفاده از مثال‌ها روابط میان داده‌ها را در صورت ناشناخته بودن روابط یا دشوار بودن توصیف آنها کشف می‌کنند. از این رو در صورتی که مسأله بسیار دشوار باشد یا داده‌های کافی وجود نداشته باشد، شبکه عصبی ابزار بسیار مفیدی است زیرا یکی از روش‌های آماری ناپارامتریک غیرخطی چندمتغیره است که توان یادگیری و تصحیح خطا دارد.<sup>1</sup>

مهم‌ترین مزیت شبکه‌های عصبی، توانایی در یادگیری از داده‌های ورودی است. بنابراین، پتانسیل عمومیت بخشیدن شبکه‌های عصبی به وجود می‌آید. به بیان دیگر، یک خروجی قابل قبول برای داده‌های ورودی مشاهده نشده پیشین، ایجاد می‌کند. اهمیت این موضوع در پیش‌بینی بسیار زیاد است. ارزش دیگر این شبکه، طبیعت غیرخطی بودن آن است. به این ترتیب تعداد زیادی از مسائل قابلیت حل پیدا می‌کنند. انعطاف‌پذیری و توانایی عمومیت بخشیدن بدون طرح فرضی لازم، از جمله مزایای دیگر آن است.<sup>2</sup>

در دهه اخیر شبکه‌های عصبی به عنوان یکی از پُر استفاده‌ترین روش‌ها در زمینه طبقه‌بندی، تشخیص الگو و پیش‌بینی سری‌های زمانی بوده است. بیشتر سری‌های

<sup>1</sup> Azoff

<sup>2</sup> Kuan & White

زمانی در جهان واقعی الگوهای غیرخطی پیچیده دارند. قدرت بالای تشخیص انواع الگوهای موجود در داده‌های بازار، تقریب توابع پیچیده، پایداری و انعطاف‌پذیری آن در برابر نویزها از مشخصات بارز و قدرتمند شبکه عصبی در کشف فرآیند مولد قیمت بازار است، به طوری که دومین زمینه پُرکاربرد شبکه عصبی را پیش‌بینی سری‌های زمانی به خود اختصاص داده است.

### ب) پیش‌بینی سری زمانی توسط شبکه عصبی مصنوعی

در پیش‌بینی سری‌های زمانی، ورودی‌های شبکه عصبی مصنوعی مشاهدات با وقفه سری زمانی است و خروجی شبکه، مقادیر آتی آنها ورودی از  $n$  است. در این حالت، هر الگوی آموزشی از تعداد ثابتی از مشاهدات با وقفه سری تشکیل می‌یابد. در واقع، اگر مشاهدات پیشین به صورت سری باشد، آنگاه شبکه عصبی مصنوعی تابع زیر را تقریب و طرح‌ریزی می‌کند:

$$Y_{t+1} = f(Y_t, Y_{t-1}, \dots, Y_{t-n}) \quad (4)$$

که در آن،  $Y$  مشاهده زمان  $t$  ام است. همان‌طور که مشاهده می‌کنیم، در این حالت شبکه عصبی مصنوعی معادل با مدل خودرگرسیون در پیش‌بینی سری‌های زمانی است، با این تفاوت که محدودیت خطی بودن سری در اینجا وجود ندارد.

اگر  $N$  مشاهده  $y_1, y_2, \dots, y_n$  در مجموعه آموزشی داشته باشیم، برای پیش‌بینی یک گام به جلو، شبکه عصبی مصنوعی باید دارای  $n$  نرون ورودی و  $N-n$  الگوی آموزشی باشد. نخستین الگوی آموزشی از  $y_1, y_2, \dots, y_n$  به عنوان ورودی و  $y_{n+1}$  به عنوان خروجی مطلوب یا هدف تشکیل می‌شود. دومین الگوی آموزشی از  $y_2, y_3, \dots, y_{n+1}$  به عنوان ورودی و  $y_{n+2}$  به عنوان خروجی مطلوب تشکیل می‌شود. سرانجام آخرین الگوی آموزشی به صورت  $y_{N-n}, y_{N-n+1}, \dots, y_{N-1}$  به عنوان ورودی و  $y_N$  به عنوان خروجی مطلوب تشکیل می‌شود.

### پ) مدل‌سازی با شبکه عصبی

در این مقاله، شبکه عصبی را با رویکرد بنیادی مدل‌سازی نموده و نرخ ارز را با توجه به تأثیر متغیرهای دیگر اقتصادی پیش‌بینی می‌کنیم.

روشن است که متغیرهای کمی و کیفی متعددی بر این روند تأثیرگذارند، اما در این پژوهش با استفاده از متغیرهای اقتصادی که اطلاعات آنها به صورت کمی در دسترس است، پیش‌بینی انجام شده است. در این مدل از قیمت طلا، قیمت نفت، میزان صادرات و واردات و شاخص قیمت مصرف‌کننده در ایران و آمریکا به عنوان متغیرهای اقتصادی مؤثر بر روند نرخ ارز استفاده می‌کنیم.

شبکه مورد استفاده را از نوع پرسپترون چندلایه<sup>۱</sup> با یک لایه پنهان انتخاب کردیم. الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا<sup>۲</sup> و کاهش شیب خطا را برای آموزش شبکه انتخاب کردیم. بر اساس پارامترهای مفروض مؤثر بر نرخ ارز که شاخص قیمت‌ها در ایران و آمریکا، میزان صادرات و واردات، قیمت نفت و قیمت طلا هستند، شش نرون ورودی برای شبکه در نظر گرفتیم. داده‌های ماهانه از دی ماه سال ۱۳۸۱ تا تیرماه سال ۱۳۹۲، که شامل ۱۲۸ داده است برای آموزش و آزمایش شبکه استفاده کردیم. به منظور بهبود روند آموزش شبکه، ترتیب داده‌ها را به صورت تصادفی انتخاب کردیم، بنابراین، این شبکه از هیچ‌گونه اطلاعات زمانی استفاده نمی‌کند. در نتیجه، این شبکه برخلاف شبکه تکنیکال، شامل هیچ‌گونه عنصر حافظه‌دار نیست.

اصولاً به علت استفاده از روش کاهش شیب خطا، احتمال قرارگرفتن شبکه در یک کمینه محلی<sup>۳</sup> زیاد است. در حالی که هدف از آموزش، یافتن کمینه اصلی<sup>۴</sup> است. معمولاً الگوریتم‌های آموزشی متداول در کمینه‌های محلی به دام می‌افتند. به منظور بهینه‌سازی هرچه بیشتر آموزش و پرهیز از به دام افتادن در کمینه‌های محلی و رسیدن به پایین‌ترین مقدار خطا، از الگوریتم‌های جستجوی ژنتیک استفاده می‌کنیم که بر اساس قاعده انتخاب طبیعی<sup>۵</sup> عمل می‌کنند، به بیان دیگر، همواره گزینه‌های قوی‌تر به نسل بعدی منتقل شده و گزینه‌های ضعیف حذف می‌شوند. ایجاد گزینه‌های مختلف نیز برگرفته از روش تکامل ژن‌ها در طبیعت صورت می‌گیرد. روش‌های متفاوت جستجوی ژنتیک در شبکه‌های عصبی وجود دارند. در واقع، الگوریتم‌های ژنتیک از اصول انتخاب طبیعی برای یافتن رابطه بهینه به منظور پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های ژنتیک اغلب گزینه خوبی برای تکنیک‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون

<sup>1</sup> Multilayer perceptron

<sup>2</sup> Error back propagation

<sup>3</sup> Local Minimum

<sup>4</sup> Global Minimum

<sup>5</sup> Natural Selection

هستند. در هوش مصنوعی الگوریتم ژنتیک تکنیک برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی به عنوان یک الگوی حل مسأله استفاده می‌کند. مسأله‌ای که باید حل شود، ورودی‌هایی دارد که طی یک فرایند الگوبرداری شده از تکامل ژنتیکی به راه‌حل‌ها تبدیل می‌شود، سپس، راه‌حل‌ها به‌عنوان کاندیداها توسط تابع ارزیاب<sup>۱</sup> مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و چنانچه شرط خروج مسأله فراهم شده باشد، الگوریتم پایان می‌یابد. الگوریتم ژنتیک به‌طور کلی یک الگوریتم مبتنی بر تکرار است که اغلب بخش‌های آن به صورت فرایندهای تصادفی انتخاب می‌شوند. در اینجا از الگوریتم ژنتیک برای پیدا کردن تعداد بهینه نرون‌های لایه میانی شبکه عصبی و جلوگیری از به دام افتادن در کمینه‌های محلی در هنگام آموزش استفاده کرده‌ایم. به بیان دیگر، با استفاده از الگوریتم ژنتیک تلاش کرده‌ایم تا تعداد نرون‌هایی را برای لایه میانی انتخاب کنیم تا پایین‌ترین مقدار ممکن برای خطا به‌دست آید.

در این پژوهش، پارامترهای الگوریتم ژنتیک که جمعیت و تعداد نسل‌هاست، به ترتیب ۲۵ و ۱۰۰ در نظر گرفته و از نرم‌افزار Neurosolutions نسخه ۶ برای آموزش و آزمایش شبکه استفاده کرده‌ایم.

داده‌های مورد استفاده در این شبکه، به ترتیب شاخص قیمت ایران را از بانک مرکزی جمهوری اسلامی، شاخص قیمت آمریکا و قیمت طلا را از وبسایت اداره آمار نیروی کار آمریکا، قیمت نفت خام را از وبسایت اوپک و صادرات و واردات را از وبسایت گمرک جمهوری اسلامی استخراج کرده‌ایم. گفتنی است که به دلیل نبود دسترسی به داده‌های ماهانه صادرات و واردات در سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۷، داده‌های سالانه این فاصله زمانی را از وبسایت گمرک استخراج کرده و با استفاده از نرم‌افزار eviews و منحنی‌های اسپلاین درجه سه<sup>۲</sup> از سالانه به ماهانه تبدیل کرده‌ایم.

---

<sup>۱</sup> Fitness Function

<sup>۲</sup> Cubic Spline

جدول ۱. مقایسه نتایج شبکه عصبی با مقادیر واقعی

خروجی شبکه بدون شاخص آمریکا	قدر مطلق خطا	۲۲۱.۱۹	۷۰.۸۵۳	۱۰۵.۶۴	۱۷.۲۲	۵۶.۴۳	۴۷۵۲.۵۳
	نرخ ارز (ریال)	۱۰۱۶۲.۳۸	۱۰۱۲۶.۹۶	۹۱۳۸.۱۶	۹۰۷۰.۰۸۵	۳۶۰۴۱.۴۳	۳۷۷۸۳.۱۷
خروجی شبکه	قدر مطلق خطا	۳۱۹.۶۶	۴۰۳.۷۸	۱۲.۶۰	۳۵.۹۳	۸۶۰.۷۰	۲۸۶۴.۹۸
	نرخ ارز (ریال)	۹۶۳۱.۵۳	۱۰۴۳۱.۷۲	۹۲۵۶.۴۱	۹۲۷۶.۳۴	۳۶۸۴۵.۷۰	۳۰۱۶۵.۶۶
مقادیر واقعی	نرخ ارز (ریال)	۹۹۴۱.۱۹	۱۰۸۳۵.۵۰	۹۲۴۳.۸۱	۹۲۴۰.۳۱	۳۵۹۸۵.۰۰	۳۳۰۳۰.۶۵
	ارزش صادرات (میلیون دلار)	۱,۴۲۰	۲,۳۵۸	۱,۰۹۷	۱,۰۸۳	۳,۱۱۹	۲,۵۶۰
ورودی های شبکه	ارزش واردات (میلیون دلار)	۳,۹۸۴	۵,۹۹۱	۳,۵۰۷	۳,۴۷۶	۴,۸۴۰	۳,۸۶۹
	قیمت طلا (دلار)	۹۳۰.۷۳	۱۳۷۵.۷۴	۶۸۰.۰۱	۶۵۵.۸۹	۱۵۸۸.۹۳	۱۲۶۳.۲۱
	قیمت نفت (دلار)	۶۴.۷۹	۹۱.۶۴	۶۲.۳۹	۵۶.۹۷	۱۰۸.۳۴	۱۰۳.۰۶
	شاخص قیمت آمریکا	۱۱۸	۱۲۱	۱۱۳	۱۱۲	۱۲۷	۱۲۸
	شاخص قیمت ایران	۲۵۵	۳۰۵	۱۷۲	۱۷۰	۵۵۱	۶۰۷
	تاریخ	۸۸۰۴	۸۹۱۰	۸۶۰۱	۸۵۱۲	۹۱۱۲	۹۲۰۴

۲۲۴.۸۰	۸۰۳.۸۹	۳۱.۰۷	۱۷۶۴.۰۹	۳۹۰۰.۸	۴۹.۱۵	قدر مطلق خطا		خروجی شبکه بدون شاخص آمریکا
						نرخ ارز (ریال)	نرخ ارز (ریال)	
۸۹۹۹.۳۶	۱۴۵۸۸.۳۲	۸۶۲۱.۸۱	۱۴۵۰۲.۲۴	۸۵۲۹.۸۵	۸۶۱۰.۳۷	قدر مطلق خطا		خروجی شبکه
۷۷.۰۰	۱۹.۳۱	۸۹.۲۰	۲۴۵۱.۸۲	۵۴.۹۹	۹۶.۷۸	نرخ ارز (ریال)		
۹۳۰۱.۱۷	۱۳۷۶۵.۰۲	۸۵۰۱.۵۴	۱۳۸۱۴.۵۲	۸۲۰۴.۷۶	۸۴۶۴.۳۵	نرخ ارز (ریال)		مقادیر واقعی
۹۲۲۴.۱۷	۱۳۷۸۴.۳۳	۸۵۹۰.۷۴	۱۶۲۶۶.۳۳	۸۱۴۹.۷۷	۸۵۶۱.۱۳	نرخ ارز (ریال)		
۱,۰۵۴	۲,۸۷۹	۵۰.۷	۲,۶۰۴	۴۱۹	۵۰.۵	ارزش صادرات (میلیون دلار)		ورودی های شبکه
۳,۴۲۴	۵,۰۸۰	۲,۳۸۸	۵,۶۲۸	۱,۹۱۶	۲,۲۲۷	ارزش واردات (میلیون دلار)		
۶۳۰.۳۵	۱۶۸۰.۵۰	۳۹۱.۷۸	۱۶۱۶.۷۲	۳۵۶.۹۱	۳۸۳.۹۵	قیمت طلا (دلار)		
۵۲.۳۲	۱۰۷.۸۰	۳۵.۴۹	۱۱۰.۶۱	۲۶.۷۷	۳۴.۹۸	قیمت نفت (دلار)		
۱۱۱	۱۲۴	۱۰.۳	۱۲۵	۱۰۰	۱۰.۳	شاخص قیمت آمریکا		
۱۶۶	۳۶۳	۱۲۴	۳۶۸	۱۰۸	۱۲۲	شاخص قیمت ایران		
۸۵۱۰	۹۰۰۹	۸۳۰۳	۹۰۱۰	۸۲۰۳	۸۳۰۲	تاریخ		

۱۵۵۰۰۸	۲۵۸.۸۶	۲۴۵.۳۵	۲۰۶.۹۴	۲۷۵۷.۲۴	۲۸.۵۳	قدر مطلق خطا		
						نرخ ارز (ریال)	نرخ ارز (ریال)	
۹۷۳۳.۴۹	۱۰۰۵۰.۸۲	۸۹۷۲.۷۷	۸۵۴۷.۵۸	۲۸۲۰۶.۴۲	۹۹۱۸.۷۳	خروجی شبکه بدون شاخص آمریکا		
۱۴۱.۴۷	۲۱۴.۳۶	۷۱.۵۳	۸۶.۱۷	۳۱۹۸.۴۹	۷۰.۳۴	خروجی شبکه		
۱۰۳۰۰۰۳	۱۰۰۰۶.۳۲	۹۲۸۹.۶۶	۸۲۵۴.۴۸	۲۸۷۶۵.۱۸	۹۹۶۰.۵۴	مقادیر واقعی		
۹۸۸۸.۵۷	۹۷۹۱.۹۷	۹۳۱۸.۱۳	۸۳۴۰.۶۵	۳۰۹۶۳.۶۷	۹۸۹۰.۲۰	ورودی های شبکه		
۱,۸۴۷	۱,۵۲۷	۱,۰۲۴	۴۵۱	۳,۰۴۷	۱,۴۸۱			
۴,۱۵۹	۴,۶۷۰	۳,۳۸۲	۱,۹۸۹	۵,۲۶۴	۴,۶۰۴			
۱۰۳۰۰۶۱	۹۳۷.۸۱	۶۳۶.۸۳	۳۷۸.۸۶	۱۷۶۴.۳۶	۸۳۹.۹۶			
۶۹.۶۳	۴۲.۹۴	۵۴.۸۹	۲۶.۸۳	۱۰۹.۱۶	۳۹.۷۳			
۱۱۹	۱۱۶	۱۱۱	۱۰۱	۱۲۷	۱۱۶			
۲۵۹	۲۴۵	۱۵۹	۱۰۹	۴۶۲	۲۴۵			
۸۸۰۷	۸۷۱۲	۸۵۰۸	۸۲۰۶	۹۱۰۷	۸۷۱۰			
								ارزش صادرات (میلیون دلار)
								ارزش واردات (میلیون دلار)
						قیمت طلا (دلار)		
						قیمت نفت (دلار)		
						شاخص قیمت آمریکا		
						شاخص قیمت ایران		
						تاریخ		

خروجی شبکه بدون شاخص آمریکا	قدر مطلق خطا		۲۳.۰۹	۴۴۳.۶۴	نرخ ارز (ریال)
	قدر مطلق خطا	نرخ ارز (ریال)			
۱۴۷۴.۰۶	۲۵۶.۴۶	۶۵.۸۴	۲۵۲۱.۸۴	۴۹۲.۱۱	۲۳.۰۹
۳۷۴۰.۳۰۹	۸۸۱۰.۵۷	۹۳۵۸.۰۴	۱۹۶۸۴.۴۱	۸۵۳۹.۹۳	۹۸۸۳.۲۷
۱۵۷۰۰.۷	۸۷.۷۵	۱۸۷.۱۶	۳۱۵۶.۴۰	۶۶.۴۰	۱۳۳.۴۶
۳۴۳۵۸.۹۶	۹۱۵۴.۷۹	۹۱۰۵.۰۴	۲۰۳۱۸.۹۸	۸۱۱۴.۲۳	۹۹۹۳.۶۶
۳۵۹۲۹.۰۳	۹۰۶۷.۰۳	۹۲۹۲.۳۰	۱۷۱۶۲.۵۸	۸۰۴۷.۸۳	۹۸۶۰.۱۹
۲,۶۳۹	۷۶۵	۱,۳۴۰	۲,۵۲۱	۳۸۴	۱,۶۶۲
۳,۴۲۸	۳,۲۰۸	۳,۹۱۸	۵,۰۹۰	۱,۸۵۶	۴,۲۹۳
۱۳۸۰.۳۱	۴۷۶.۶۷	۸۸۷.۷۸	۱۶۱۴.۶۵	۳۴۱.۵۶	۹۰۹.۷۷
۱۰۰۰.۸۸	۵۲۰.۰۶	۸۹.۸۱	۱۱۳.۵۱	۳۱.۴۴	۵۳.۴۰
۱۲۸	۱۰۸	۱۱۶	۱۲۵	۱۰۱	۱۱۷
۵۹۸	۱۴۱	۱۹۸	۴۰۸	۱۰۳	۲۵۱
۹۲۰۳	۸۴۰۸	۸۶۱۰	۹۱۰۲	۸۱۱۲	۸۸۰۲
ورودی های شبکه					
مقادیر واقعی	نرخ ارز (ریال)		۹۷۳۲.۳۹	۱,۶۴۳	ارزش صادرات (میلیون دلار)
	نرخ ارز (ریال)				
ورودی های شبکه					
مقادیر واقعی	ارزش واردات (میلیون دلار)		۴,۷۲۹	۹۵۳.۵۵	ارزش صادرات (میلیون دلار)
	ارزش واردات (میلیون دلار)				
ورودی های شبکه					
مقادیر واقعی	قیمت نفت (دلار)		۶۶.۱۴	۱۱۸	قیمت طلا (دلار)
	قیمت نفت (دلار)				
ورودی های شبکه					
مقادیر واقعی	شاخص قیمت آمریکا		۲۵۵	۸۸۰۳	شاخص قیمت ایران
	شاخص قیمت آمریکا				
ورودی های شبکه					
مقادیر واقعی	تاریخ		۸۸۰۲	۸۸۰۳	تاریخ
	تاریخ				

نتایج جدول نشان می‌دهد که مقادیر برآوردشده نرخ ارز به مقادیر واقعی نزدیک بوده و قدرمطلق خطای به‌دست‌آمده بیانگر دقت شبکه عصبی در برآورد روند تغییرات نرخ ارز بر اساس متغیرهای اقتصادی مؤثر بر آن بوده و کارایی شبکه عصبی در مدل‌سازی نرخ ارز را نشان می‌دهد. اعداد به‌دست‌آمده و میزان خطای پایین نتایج نشان می‌دهد که با توجه به عوامل مؤثر بر متغیر نرخ ارز، می‌توان روند آن را مدل‌سازی نموده و روند تغییرات آن را پیش‌بینی کرد.

گفتنی است با توجه به اهمیت متغیر نرخ ارز در تدوین سیاست‌های اقتصادی کشور و روابط بین‌الملل، دقت نتایج می‌تواند بسیار مثمر ثمر باشد.

#### ۵. برآورد حساسیت نرخ ارز در شبکه عصبی بنیادی

به منظور بررسی تأثیرپذیری نرخ ارز از متغیرهای ورودی مدل، حساسیت آن نسبت به متغیرهای اقتصادی موجود در مدل محاسبه شد. در جدول ۵ نتایج محاسبه حساسیت نسبت به تغییرات ۰,۰۱، ۰,۰۵، ۱، ۰,۵ و ۰,۵ درج شده است.

جدول ۲. نتایج حساسیت نرخ ارز نسبت به تغییرات متغیرهای ورودی

۰,۵	۰,۱	۰,۰۵	۰,۰۱	
۱۵,۶۷	۱۵,۰۸	۱۵,۰۰	۱۴,۹۴	شاخص قیمت ایران
۳۰,۵۸	۳۱,۸۴	۳۲,۰۰	۳۲,۱۲	شاخص قیمت آمریکا
۲,۶۳	۲,۹۴	۲,۹۹	۳,۰۳	قیمت نفت
۱۸,۲۸	۱۸,۰۰	۱۷,۹۶	۱۷,۹۳	قیمت طلا
۱۱,۸۳	۱۱,۵۴	۱۱,۵۰	۱۱,۴۷	واردات
۲۱,۰۰	۲۰,۶۰	۲۰,۵۵	۲۰,۵۱	صادرات

مأخذ: یافته‌های این پژوهش.

توجه به این نکته ضروری است که این میزان تغییرات در مقدار استانداردشده هر یک از ورودی‌های شبکه اعمال شده و مقادیر حساسیت به درصد بیان شده به صورتی

که مجموع سطرهای هر ستون برابر ۱۰۰ درصد است. به بیان دیگر، سهم تغییرات در خروجی مدل نسبت به تغییرات هر ورودی به درصد بیان شده است. با توجه به حساسیت بالای شبکه نسبت به شاخص قیمت در کشور آمریکا به نظر می‌رسد این حساسیت بالا، حساسیت ریاضی کاذبی ناشی از کوچک‌بودن محدوده تغییرات شاخص قیمت آمریکا باشد. به بیان دیگر، به دلیل اینکه در کل داده‌ها میزان این شاخص حداکثر ۳۰ درصد تغییر نموده، بنابراین، شبکه با داده‌های خارج از این محدوده آموزش نیافته و به همین علت به تغییرات آن حساسیت زیادی نشان می‌دهد. برای بررسی بیشتر حساسیت مدل، متغیر شاخص قیمت آمریکا از ورودی شبکه عصبی حذف شده، شبکه بار دیگر آموزش داده شده و حساسیت‌ها را محاسبه کردیم.

جدول ۳. نتایج حساسیت نرخ ارز به متغیرهای اقتصادی پس از حذف شاخص قیمت آمریکا از ورودی شبکه عصبی

۰.۵	۰.۱	۰.۰۵	۰.۰۱	
۵۹.۸۴	۵۸.۸۱	۵۸.۶۹	۵۸.۵۱	شاخص قیمت ایران
۹.۰۴	۹.۴۹	۹.۵۸	۹.۶۳	قیمت نفت
۱۵.۵۵	۱۴.۰۸	۱۳.۷۹	۱۳.۶۵	قیمت طلا
۶.۲۸	۶.۷۶	۶.۸۷	۶.۹۵	واردات
۹.۲۹	۱۰.۸۵	۱۱.۰۷	۱۱.۲۵	صادرات

مأخذ: یافته‌های این پژوهش.

با وجود اینکه نتایج نشان می‌دهد که پس از حذف متغیر شاخص قیمت آمریکا قدرمطلق خطای پیش‌بینی افزایش یافته است (مقدار مجذور میانگین مربعات خطا نیز ۱۱۴۴,۳۸ به ۱۳۲۶,۴۱ افزایش یافته است)، ارقام به دست آمده در جدول ۳، تطابق بیشتری با تحلیل‌ها و نظریه‌های اقتصادی دارند. بنابراین، نتایج به‌دست آمده پس از حذف متغیر شاخص قیمت مصرف‌کننده در آمریکا قابل استناد و استفاده سیاست‌گذاران اقتصادی است.

شاخص قیمت مصرف‌کننده در ایران که حدود ۵۹ درصد از حساسیت و کشش تغییرات نرخ ارز را به خود اختصاص می‌دهد، از بین متغیرهای ورودی شبکه تأثیرگذارترین متغیر اقتصادی بر نرخ ارز است. از آنجا که تورم داخلی در ایران بالاتر از تورم خارجی است، باعث می‌شود که قدرت رقابت تولیدکنندگان داخلی برای صادرات کالاها و خدمات کاهش یابد و به دنبال آن، صادرات کشور تضعیف شود و از سوی دیگر، واردات کالاها و خدمات خارجی به کشور افزایش پیدا می‌کند و مهم‌تر اینکه دولت برای تقویت پول ملی کشور، نسبت به تزریق منابع ارزی حاصل از صادرات نفت خام به بازار اقدام می‌نماید و این امر موجب از دست رفتن ذخایر ارزی کشور می‌شود. بنابراین، بررسی رابطه علت و معلولی بین تورم و نرخ ارز به منظور تدوین سیاست‌های پولی و ارزی مناسب، از ملزومات مورد توجه سیاست‌گذاران اقتصادی است.

قیمت طلا دومین عامل مؤثر بوده که سهم آن حدود ۱۴ درصد ارزیابی شده است. حساسیت ۱۱ درصدی مدل به میزان صادرات نشان می‌دهد که ارتباط مثبت و معناداری بین صادرات غیرنفتی و نرخ ارز وجود دارد. بنابراین، اتخاذ سیاست‌های مناسب نرخ ارز در جهت تعدیل نرخ واقعی ارز، به دلیل رونق صادرات غیرنفتی می‌تواند نقش به‌سزایی در افزایش ظرفیت آینده تولید و دستیابی به رشد اقتصادی داشته باشد. قیمت نفت و واردات نیز به ترتیب با ۱۰ و ۷ درصد سهم، از عوامل دیگر مؤثرند. بیشتر دولت‌ها تحت تأثیر شوک‌های منفی قیمت نفت، مجبور می‌شوند بر واردات کالا و خدمات محدودیت بیشتری را اعمال کنند تا از طریق صرفه‌جویی‌های ارزی امکان تأمین نیازهای ضروری کشور و بازپرداخت به موقع تعهدات خارجی فراهم شود. با توجه به اینکه در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، بخش عمده‌ای از واردات آنها را کالاهای سرمایه‌ای و مواد اولیه مورد نیاز بخش تولیدی تشکیل می‌دهند، محدودیت اعمال شده بر واردات می‌تواند آثار نامساعدی بر بخش تولیدی کشور به جای گذارد. نتیجه اجتناب‌ناپذیر چنین شرایطی، بروز فشارهای تورمی، افزایش نرخ ارز، رکود اقتصادی و افزایش بیکاری در جامعه خواهد بود.

بر اساس اطلاعات جدول ۳ ملاحظه می‌شود که حساسیت مدل به تغییرات قیمت طلا بیش از حساسیت مدل به تغییرات قیمت نفت است که ممکن است این امر ناشی از نبود وزن هریک از متغیرها در ورودی شبکه باشد. به بیان دیگر، در صورتی که مقدار فروش نفت ماهانه و مقدار صادرات و واردات طلا به‌صورت ماهانه در دسترس باشد و

این پارامترها به صورت وزنی به شبکه اعمال شوند، ممکن است نتایج ملموس تری حاصل شود. افزون بر این، از آنجا که روند قیمت طلا در ایران با روند تغییرات جهانی آن همسو نیست، اعمال داده‌های مربوط به قیمت داخلی طلا به شبکه می‌تواند در بهبود فهم نتایج شبکه مؤثر باشد.

بر اساس ارقام به‌دست آمده، ضروری است که سیاست‌گذاران اقتصادی به منظور دستیابی به نرخ بهینه ارز که یکی از مهم‌ترین عوامل روابط بین‌الملل است، به میزان تورم در ایران و عوامل دیگر و بررسی رابطه علت و معلولی بین آنها توجه کنند. با توجه به نزدیکی اعداد به‌دست آمده برای تمام متغیرها نسبت به تغییرات ۱ تا ۵۰ درصدی ورودی‌ها، به نظر می‌رسد آموزش شبکه به‌خوبی صورت پذیرفته و نتایج آن سازگارند.

## ۶. نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های پژوهش با توجه به این مطلب که شاخص قیمت‌های ایران در انتهای دوره مورد بررسی بیش از ۶۵۰ درصد ابتدای آن بوده، در حالی که این شاخص در آمریکا در انتهای دوره تنها نزدیک به ۳۰ درصد افزایش یافته است، طبیعی است که اگر شبکه تنها بر اساس شاخص قیمت‌ها در دو کشور آموزش داده می‌شد، انتظار می‌رفت که نرخ ارز نیز در حدود ۶ برابر ابتدای دوره شود؛ اما با توجه به اینکه در انتهای دوره نرخ ارز حدود ۳ برابر شده، روشن است که متغیرهای دیگری نیز در این مسأله مؤثرند. بنابراین، ورود متغیرهای قیمت نفت، قیمت طلا، ارزش میزان صادرات و واردات نیز انتخاب‌های منطقی بوده‌اند. البته متغیرهایی نظیر GDP ماهانه، تراز پرداخت‌ها، شاخص بورس، نقدینگی، متغیر مجازی در مورد تحریم‌های اعمال شده بر تجارت خارجی ایران گزینه‌های مناسبی برای اعمال به شبکه و بررسی بیشتر به نظر می‌رسید، اما به دلیل نبود دسترسی به این داده‌ها امکان استفاده از آنها در مدل وجود نداشت. در صورت امکان دسترسی به این داده‌ها توسط بانک مرکزی و مرکز آمار ایران در آینده امکان گسترش این پژوهش و نتایج دقیق‌تر وجود دارد. با این حال، یافته‌های پژوهش و نتایج دقیق شبکه عصبی حاکی از توانایی این روش در برآورد مدل‌های پیچیده است.

با توجه به طبیعت پیچیده مدل و با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک برای بهینه‌سازی نتایج شبکه و استفاده از داده‌ها به صورت تغییر توالی و انتخاب تصادفی آنها خطای ناشی از برآورد به طور محسوسی کاهش یافته است.

با استفاده از مفهوم حساسیت و محاسبه حساسیت شبکه آموزش داده شده به تغییرات ورودی، میزان و اهمیت اثرگذاری هریک از عوامل اقتصادی مؤثر را محاسبه کرده‌ایم. با توجه به نتایج به دست آمده شاخص قیمت مصرف‌کننده، قیمت طلا، صادرات، قیمت نفت و واردات در ایران به ترتیب عوامل مؤثر بر روند تغییرات نرخ ارز در ایران هستند. این پژوهش کاربردی عملی از استفاده شبکه‌های عصبی در ارزیابی متغیرهای اقتصادی را نشان داده و می‌تواند راهگشای سیاستگذاران اقتصادی باشد. از سوی دیگر، می‌توان از شبکه عصبی به عنوان گام نخست برای مدل‌سازی هر متغیر مهم اقتصادی استفاده کرده و با استفاده از تحلیل حساسیت اهمیت متغیرهای مختلف را سنجیده، سپس، با روشی با پشتوانه نظری مدل‌سازی را با آن متغیرهای مهم انجام داد. نظر به اینکه در بیشتر روش‌شناسی‌های اقتصادسنجی برآورد مدل با استفاده از داده‌های سالانه انجام می‌گیرد، روش به کاررفته در این پژوهش می‌تواند با به‌کارگیری داده‌های روزانه و ماهانه، دریچه‌ای برای برآورد دقیق‌تر و کاربردی‌تر مدل‌های اقتصادی باشد.

## ۷. منابع

- پایگاه اطلاع رسانی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران. [www.cbi.ir](http://www.cbi.ir)
- پایگاه اطلاع رسانی گمرک جمهوری اسلامی ایران. [www.irica.gov.ir](http://www.irica.gov.ir)
- درگاهی، حسن و انصاری، رضا. (۱۳۸۷). بهبود مدل‌سازی شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی نرخ ارز با به‌کارگیری شاخص‌های تلاطم. تحقیقات اقتصادی، شماره ۸۵، ص ۱۱۷-۱۴۴.
- زمان‌زاده، حمید. (۱۳۹۱). مدیریت نرخ ارز در اقتصاد ایران. دنیای اقتصاد، پنج‌شنبه ۲۲ تیر.
- مشتاق، مصطفی. (۱۳۷۹). تبدیلات ارزی و تعیین نرخ ارز. مجله بانک و اقتصاد، شماره ۱۲، ص ۶۰-۶۹.

- Azoff, M. E. (1994). *Neural Network Timeseries Forecasting of Financial Markets*. Chichester; New York, Wiley.
- Bureau of Labor Statistics Website: [www.bls.gov/cpi/](http://www.bls.gov/cpi/)
- Dunis, CH. Laws, J. Kalathanasopoulos, A. (2008). *Modelling and Trading the Greek Stock Market with Mixed Neural Network Models*. CIBEF.
- Episcopos, A. Davis, J. (2001). Prediction Returns on Canadian Exchange Rates with Artificial Neural Networks and EGARCH Models. *Neural computing & Application*, Vol. 4, No. 3, pp. 168-174.
- Hu & Tsoukalas. (1999). Combining Conditional Volatility Forecast Using Neural Networks: an Application to the EMS Exchange Rates. *Elsevier Journal of International Financial Markets Institutions and Money*, Vol.9, Issue 4, pp. 407-422.
- Kuan, C.M. & White, H., (1991). Strong Convergence of Recursive M-Estimators for Models with Dynamic Latent Variables. *Papers 25*, Stanford-Institute for Thoretical Economics.
- Lisi, F. Schiavo, R. (1999). A Comparison between Neural Networks and Chaotic Models for Exchange Rate Prediction. *Computational Statistics & Data Analysis*, Vol. 30, No. 1, pp. 87-102.
- Pacelli, V. Azzollini, M. (2011). An Artificial Neural Network Model to Forecast Exchange Rates. *Journal of International Learning Systems and Applications*, Vol. 3, No. 1, pp. 57-69.
- OPEC Website : [www.opec.org](http://www.opec.org)
- Pedram M., Ebrahimi M. (2014). Exchange Rate Model Approximation, Forecast and Sensitivity Analysis by Neural Networks, Case Of Iran. *Bussiness and Economic Research*, Vol. 4, No. 2. pp.49-62.
- Pradhan, R. (2010). Forecasting Exchange Rate in India: An Application of Artificial Neural Network Model. *Journal of Mathematics research*, Vol.2, No.4, pp 111-117.
- Stokes, A. (2011). *Forecasting Exchange Rates Using Neural Networks: a Traders Approach*. Student Theses & Publication, 205.
- USA Gold Website: <http://www.usagold.com/reference/prices>

- Yao, J. Tan, Ch. (2000). A Case Study on Using Neural Networks to Perform Technical Forecasting of Forex. *Neurocomputing*, Vol. 34, No. 1, pp. 79-98.

